




LIGHT-EMITTING ELEMENT

Patent number: JP10004209
Publication date: 1998-01-06
Inventor: KISH JR FRED A; KRAMES MICHAEL R
Applicant: HEWLETT PACKARD CO
Classification:
- international: H01L33/00
- european:
Application number: JP19970064003 19970318
Priority number(s): US19960620518 19960322

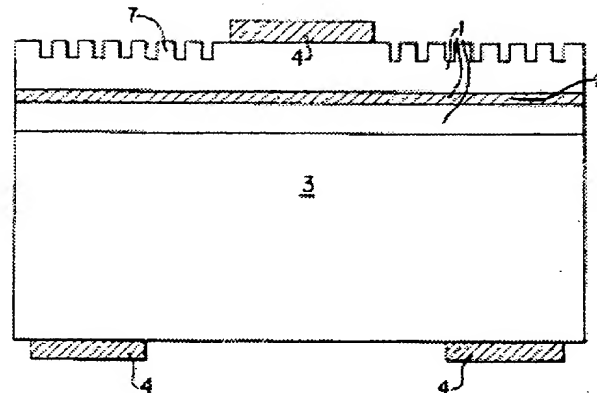
Also published as:

 US5779924 (A1)
 GB2311413 (A)
 DE19709228 (A)

Abstract not available for JP10004209

Abstract of corresponding document: **US5779924**

This method relates to the fabrication of semiconductor light-emitting devices having at least one ordered textured interface. Controlled interface texturing with an ordered pattern is provided on any or all interfaces of such a device to enhance light extraction from these interfaces and thus improve the performance of the device. Ordered interface texturing offers an improvement in light extraction by increasing the transmission of total optical power from the device into the ambient. This improvement is possible because ordered interface texturing can provide: 1) a reduction in Fresnel losses at the interface between the device and the ambient and, 2) a change or increase in the angular bandwidth of light which may transmit power into the ambient. This latter effect may be thought of a change or increase in the escape cone at an interface. Both effects can result in an overall increase in total light extraction efficiency for the LED.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-4209

(43) 公開日 平成10年(1998) 1月6日

(51) Int.Cl.⁸

H 0 1 L 33/00

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 L 33/00

技術表示箇所

B

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平9-64003

(22) 出願日 平成9年(1997) 3月18日

(31) 優先権主張番号 6 2 0, 5 1 8

(32) 優先日 1996年 3月22日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 590000400

ヒューレット・パッカード・カンパニー
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアル
ト ハノーバー・ストリート 3000

(72) 発明者 マイケル・アール・クレイムス

アメリカ合衆国カリフォルニア州マウンテ
ン・ビュー, カルデロン アヴェニュー
151 ナンバー265

(72) 発明者 フレッド・エー・キッシュ、ジュニア

アメリカ合衆国カリフォルニア州サン・ノ
ゼ, レイクショア サークル1374

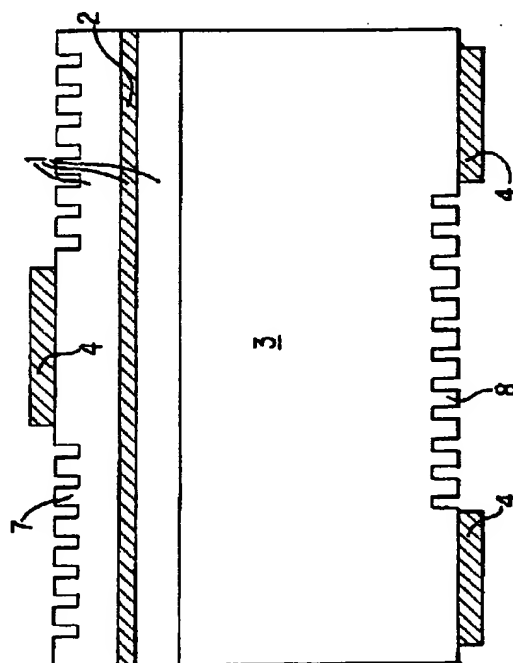
(74) 代理人 弁理士 上野 英夫

(54) 【発明の名称】 発光素子

(57) 【要約】

【課題】半導体発光素子において、半導体界面の反射及び透過特性を有利に変更して、半導体から光を抽出する効率のよい方法を提供する。

【解決手段】LEDの任意の界面において周期的な規則的界面テクスチャを備え、第1のバス光の抽出が改善される。界面のパターン形成は、光の抽出のために素子内部における多重反射をしないで、より多くの光を外部に送り込めるように制御される。さらに、規則的なテクスチャ界面によって、光線が外部に脱出する場合のフレネル損失を減少させることが可能になる。テクスチャ特徴の形状及び寸法は、光の抽出が最適になるように選択される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】発光素子、該発光素子は以下（a）および（b）を含むことを特徴とする、

（a）素子、該素子は、以下（a-1）ないし（a-4）を含む、（a-1）基板、（a-2）p-n接合領域、該p-n接合領域は複数の層を備え、その部分組をなす複数層の極性が、p-n接合を形成するように逆極性になっており、層の1つが基板に隣接している、（a-3）透過性ウインドウ層、該透過性ウインドウ層は前記p-n接合領域に隣接して配置され、及び、（a-4）電気接点、該電気接点は前記p-n接合領域に接続し、前記p-n接合に順バイアスをかける働きをする、（b）主界面であって、該主界面は前記素子内に配置され、少なくとも1つの選択方向において繰り返される特徴によってテクスチャが形成されており、選択された方向のそれぞれにおいて関連する周期性を備えて、光の抽出を増すようになっており、1つの周期内において、少なくとも1つの山と少なくとも1つの谷を有する断面プロフィールを備える主界面。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体発光素子の製造に関するものである。とりわけ、本発明は、こうした素子からの光の抽出の改良を目指したものである。

【0002】

【従来の技術】半導体発光素子（LED）からの光抽出は、一般に空気（ $n \approx 1$ ）または透過性エポキシ（ $n \approx 1.5$ ）等の周囲環境に対する半導体材料の光屈折率が大きい（ $n \approx 2.2 \sim 3.8$ ）ために制限されるのが普通である。抽出量は、LEDのマクロ形状寸法及び活性領域内で発生した光の3次元放出分布にかなり左右される。活性領域の発光能力は、エピタキシャル層、閉じ込め層等のようなまわりの材料の構造によって決まる。

【0003】半導体から光を抽出する問題は、基本電磁気学の一例を利用することによって理解することが可能である。すなわち、1つの媒質（I）からもう1つの媒質（II）に入射する電磁平面波は、透過のために2つの媒質間の界面における位相整合条件を満たさなければならない。この条件を満たさない波は、TIR（Total Internal Reflection、全内部反射、以下TIRと略す）を生じ、媒質IIには伝搬しない。従来の半導体LEDの場合、媒質Iにおける光の速度が媒質IIにおけるよりも大幅に遅くなり（ $n_1 > n_2$ ）、これらの媒質間のインターフェイスが平面か、または、テクスチャ形成されていない場合、位相整合条件によって、透過が垂直入射角を中心とする狭い角度範囲で媒質Iから入射する光線に制限される。

【0004】リン化ガリウムGaP（ $n_1 \approx 3.3$ ）と透過性エポキシ（ $n_2 \approx 1.5$ ）との界面の場合、TIRは、臨界角 $\theta_c = \arcsin(n_2/n_1) = 27^\circ$

0°を超える入射角 θ_c で生じる。脱出円錐内（ $\theta_c < \theta$ ）の入射光だけが透過されることになる。Gap内の等方性点光源の場合、界面において脱出円錐内に放出される光の率は、利用可能な放出光の $(1 - \cos \theta_c)/2 = 5.5\%$ にすぎない。界面におけるフレネル損失を含めると、利用可能な放出光の約4.7%が界面を透過してエポキシ内に伝搬される。完全に反射性の底面を備え、上部接点がなく、内部吸光が生じない立方体形状の素子の場合、こうした界面が6つ存在し、全放出光のLEDから脱出する率は、 $6 \times 4.7\% = 28.2\%$ になる。

【0005】上述の効果によって、LEDの抽出効率が厳しく制限される。典型的な素子は、p-n接合において広い範囲の方向に放出される（ほぼ等方性放出）光子を発生する。結果として、放出される光線のうちかなりの部分が、大きい斜角で素子/周囲界面に入射する可能性がある。界面が平面か、あるいは、テクスチャが形成されていない場合、これらの光線は、TIRを生じることになり、第1のパスで脱出することはなく、素子内に吸収されやすい。

【0006】LEDからの光の抽出を改良するためのいくつかの方法が提案されている。その中の1つの方法は、LEDのマクロ形状寸法を変更し、素子内で発生した光の全てまたは大部分が周囲との界面から脱出円錐に入ることができるようにすることである。望ましい形状は、点光源活性領域が球体の中心に位置する、球形素子である。放出光の全てが、垂直入射角で界面にぶつかり、フレネル損失を最小にし、TIRをなくして、周囲に脱出する。Dierschke, et al. In Applied Physics Letters 19,98(1971)には、半球形素子に関する抽出効率の大幅な向上に特に言及されている。Carr in Infrared Physics 6,1 (1966)に記載のように、円錐台、角錐台等のような他の形状でも抽出効率が改善される。マクロ整形方法は、コストが高くつき、非効率的な材料利用及び複雑な製作プロセス及び技法といった、関連する製造可能性問題を抱えている。

【0007】もう1つのアプローチは、素子の上部表面における反射防止コーティングを用いることである。コーティングによって、界面にほぼ垂直に入射する光線のフレネル損失が減少する。しかし、薄膜コーティングによって、一般に、半導体表面に対する平面性が維持されるので、素子/周囲界面における有効脱出円錐が拡大することにはならず、この技法の場合、光抽出の改善が制限される。

【0008】もう1つの先行技術によるアプローチは、図1に示され、Schnitzer, et al. In Applied Physics Letters 63,2174(1993)によって教示されているように、半導体LEDの表面のランダムなテクスチャ形成または粗仕上げである。ランダム表面テクスチャによって、素子内の光線の角度分布がランダム化される。この

ランダム化によって、素子構造による多重バス後に、光が脱出円錐に入る確率全体が高くなる。活性領域から放出される光は、脱出円錐に入る前に何回も上部表面にぶつかる。In Applied Physics Letters 62,131(1993) Schnitzer, et al.に特に言及されているように、光学的ポンプ構造における多重バス光の抽出によって、極めて高い全外部量子効率(>72%)を実現することが可能になる。この場合、素子内の吸収を最小限に抑えるため、慎重な注意が払われた。実用的な電氣的ポンプ素子の場合、素子内の損失性または吸収性の領域(例えば、吸収基板、活性層、欠陥、ドープ領域等)またはその端部における該領域(例えば、金属接点、ダイ取り付けエポキシ等)によって、多重バス光線の強度が大幅に低下し、このため、抽出効率の利得が制限される。従って、多重バス光抽出技法によれば、実際の素子では、吸収前に、光子が素子による多数回にわたるバスができないので、小規模な改善しか得られない。

【0009】もう1つの先行技術による方法は、光子を表面プラズモン・モード(上部表面の薄膜金属層内における)に結合し、引き続き、周囲への放射モードで外部伝搬されるようにすることである。Kock, et al., in Applied Physics Letters 57,2327(1990)の教示によれば、プラズモン・モード結合を強化するため、図2に示す周期的表面構造と薄い金属薄膜を組み合わせることで、LEDの量子効率を高めることが可能である。

【0010】これらの構造は、半導体からの光子を金属層の表面プラズモンに結合し、これが、さらに、最終的に抽出される光子に結合されることに基づいている。周期的構造は、溝の深さが浅い(0.1 μ m)1次元刻線格子である。おそらく、格子・表面プラズモン変換メカニズム、及び、表面プラズモン・周囲光子変換メカニズムの効率が悪いので、こうした素子の場合、全外部量子効率は低くなる(1.4~1.5%)。

【0011】

【発明が解決すべき課題】半導体発光素子において、半導体界面の反射及び透過特性を有利に変更して、半導体から光を抽出する効率のよい方法が、極めて望まれている。

【0012】

【課題を解決するため手段】LEDの任意のまたは全ての界面における少なくとも1つの次元において周期的な規則的界面テキスチャを備えるLEDによって、第1のバス光の抽出が改善される。界面のパターン形成は、脱出のために素子による多重バスを必要とせず、より多くの光を周囲に送り込めるように制御される。さらに、規則的なテキスチャ界面によって、光線が周囲に脱出する場合のフレネル損失を減少させることが可能になる。規則的にパターン化されたテキスチャ形成界面は、素子内における光の単一波長に相当する特徴間隔を備えるこ

とが可能である。テキスチャ特徴の形状及び寸法は、光の抽出が問題となる用途にとって最適になるように選択される。

【0013】規則的な制御された界面テキスチャ形成の結果、素子/周囲界面における有効脱出円錐の変化または拡大によって光抽出の利得を向上させることが可能になる。マクロ整形技法に比べると、規則的テキスチャ形成が必要とする製作プロセスはより単純である。ほぼ反射防止コーティングによって反射を最小限に抑えるやり方で、フレネル損失を減少させることが可能である。最後に、第1のバス光に関して、光抽出の利得がすぐに得られ、光は素子内から放出する前に素子構造内において多重バスを繰り返さなくてよい。

【0014】

【実施例】界面にテキスチャが形成されると、平らな界面に関する電磁位相整合条件が変化する。規則的なテキスチャ形成パターンを設計することによって、第1のバス光の抽出を増し、半導体から周囲への伝搬パワーを増すことが可能である。半導体LEDの規則的なテキスチャ形成の効果については、GaP($n_s \approx 3.3$)と透明エポキシ($n_e \approx 1.5$)との界面の波モーメントまたはk空間図を示す図3を参照することによって理解することが可能である。界面における2つの媒質は、その許容される波数表面、すなわち、それぞれ半径 k_s 及び k_e の半円によって表される。ここで、 $k = k_s$ 、 $n = 2\pi n/\lambda$ 、 n は、材料の屈折率、 λ は問題となる自由空間の波長である。テキスチャ形成がなければ、素子内からの光線 l は、 θ_c を超える大きい斜角で界面に入射し、エポキシへのパワーの伝搬を可能にするのに必要な位相整合条件を満たさない。従って、光線 l は全内部反射して、そのパワーを反射光線 r に伝搬し、GaPに戻す。

【0015】本発明の場合、規則的テキスチャ形成の周期的間隔は、界面における位相整合条件の変更のため、十分に狭くなるように選択されている。図3の場合、入射平面に沿った波数が $K = 2\pi/\Lambda$ の、界面に沿った周期的テキスチャによって、入射光線にモーメントが付与され、伝搬モード t_1 、 t_2 、及び、 t_3 で示されるようにエポキシにエネルギーが伝搬される。エネルギーは、また、反射モード r_1 、 r_2 、及び r_3 で反射し、GaPに送り返される。テキスチャを形成する個々の局所の特徴の周期的間隔と形状及び深さは、伝搬モードへのパワー伝達好適になるように選択される。

【0016】活性層からの発光は、本質的に3次元のため、界面テキスチャ形成は、できれば任意の方位角について入射平面に沿った波ベクトル成分を得られるのが望ましい。従って、テキスチャの構成は、単純な刻線格子のような1次元ではなく、界面に沿った2次元が望ましい。テキスチャ構成の2次元の性質によって、かなりのフレキシビリティが得られる。例えば、界面の平面に沿

った2つの直交方向における周期性を異なるようにすることが可能であり、この場合、異方性ビーム・パターンを発生することが可能になる。こうしたビーム・パターンは、いくつかの用途において有効になる可能性がある。

【0017】規則的テキスチャ形成周期は、界面において垂直にTIRを生じる光線から周囲にパワーを伝搬するには、十分短いことが望ましいが、ほぼ垂直な入射光線（別様であれば、脱出する）からかなりの量の光の向きを直し、TIRモードで、素子に送り返すことになるほど短くならないようにすべきである。この同じ理由により、「鋭い」テキスチャ特徴は、「穏やかな」テキスチャ特徴よりも望ましくない可能性がある。「鋭い」特徴を備えたテキスチャは、光と干渉して、数回高い回折モードを生じるテキスチャである。これによって、かなりの量の光が、TIRモードに結合されて、素子に戻される確率が高くなる。一方、「穏やかな」特徴を備えたテキスチャは、光の向きを直して、主として低次の回折モードにし、適正なテキスチャ設計の場合、周囲に脱出するテキスチャである。「鋭い」特徴を備えた典型的なテキスチャ・プロファイルには、方形波（鋭いかどを備える）があり、一方、「穏やかな」特徴を備えたテキスチャ・プロファイルの一例には、界面の平面に沿って平滑に変化する正弦波がある。

【0018】本発明において、界面は異なる媒質間の領域、または、こうした領域の隣接する組み合わせと定義されるものとする。さらに、界面はこれら異なる媒質だけではなく、素子の幾何学構造の残りの部分に対するその位置及び配向によっても指定されるものとする。

【0019】図4には、規則的テキスチャが形成された上部表面を備えるLEDが示されている。垂直にTIRを生じる光線 γ が、この上部表面に達すると、周囲にパワーを伝搬する。このパワー伝達は、第1のパス時に生じ、素子内または素子のエッジの吸収領域における光学損失の確率を低下させる。テキスチャ形成されていない表面の臨界角によって形成される角帯域幅内の光線（ γ' ）は、脱出が可能になる。規則的なテキスチャ形成の総合的效果は、活性層の発光と素子の形状寸法及び周囲を整合させて、全抽出効率が大幅に増す結果が得られるのが望ましい。

【0020】界面における規則的なテキスチャ形成によって、素子から周囲に透過する光線の反射損失も大幅に低下する。Gaylord et al., in Applied Optics 25, 4562 (1986)に記載のように、規則的な表面テキスチャは、広い角帯域幅にわたって良好な反射防止特性を示す。素子と周囲との間における屈折率の急なステップが緩和され、有効屈折率値が素子材料の有効屈折率値と周囲の有効屈折率値との間で徐々に変化する中間領域が形成される。

【0021】最適光のテキスチャ・パターンは、界面に

入射する放出光の角分布、及び、界面の形状によって左右され、その両方によって、光線が所定の角度で界面に当たる確率がほぼ決まる。LED活性領域が多く（ほぼ）等方性発光体から構成される場合、フラットな界面に入射する光が、広い角度範囲にわたって効率よく透過しなければならない、すなわち、テキスチャ形成された界面透過は、角帯域幅が広くなければならないといったテキスチャ設計を施さなければならない。例えば、微少な空洞共振発光のような、活性領域からの発光が異方性の場合、規則的なテキスチャ形成によって、異方性発光及び界面配向の結果生じる角帯域幅内において効率のよい透過が行われることが望ましい。

【0022】LED構造の幾何学構造または形状によって、界面に入射する光の角分布が決まる。立方体構造の場合、上部平面に対する妥当な最大入射角は $\tan^{-1}(\sqrt{2} \cdot a/h)$

とすることが可能であり、ここで a は、立方体の幅であり、 h は、活性層から上部表面までの距離である（例えば、 $a=10\text{mil}$ 、 $h=2\text{mil}$ 、とすると $\theta_{\text{max}}=82^\circ$ となる）。しかし、側部表面の臨界角内の光は、側部表面から脱出するので、 $\theta_{\text{max}}=90^\circ-\theta_c=63^\circ$ （ $n_s=3.3$ 、 $n_a=1.5$ の場合）。従って、規則的テキスチャ形成は、 $-63^\circ<\theta_c<63^\circ$ の角帯域幅にわたって効率のよい透過が生じるように設計することが望ましい。

【0023】さらに、光の角分布の3次元性質を考慮すべきである。例えば、平らな界面の下方にある等方性発光体に関して、 $|\theta|<20^\circ$ の場合に放出される光の割合は、 $(1-\cos 20^\circ)/2=3\%$ である。これは、 $20^\circ<|\theta|<40^\circ$ の場合に放出される光の割合、すなわち、 $(\cos 20^\circ-\cos 40^\circ)/2=8.7\%$ より低い。 $40^\circ<|\theta|<60^\circ$ の場合、割合は、 $(\cos 40^\circ-\cos 60^\circ)/2=13.3\%$ になる。界面の規則的テキスチャ形成は、所望であれば、小さい斜角を犠牲にして大きい斜角でより効率よく光を透過するように設計することが可能である。これは、一般に、回折構造における回折効率と角帯域幅との間において固有のトレード・オフのため、重要になる可能性がある。結果として、大きい斜角（光の大部分が入射光の場合）における最大抽出効率に合わせて格子を同調させることが望ましい場合がある。

【0024】活性層とまわりの構造は、界面に入射する光の角分布に影響を及ぼす可能性がある。厚い吸収性の活性層の場合、大きい値の θ における発光は、吸収性の活性層内において可能性のある光路長が長くなるため、可能性が低い。上部表面に入射する光の角帯域幅は、内部量子効率の高い（光子の再循環確率が高い）薄い活性層素子または活性層に対して狭くなる。

【0025】空洞共振型LED構造（Schubert et al., Science 265, 943 [1994]を参照）の場合、活性層及

び空洞共振器の設計は、光の角分布に強い影響を及ぼす。活性層は、反射金属、誘電体分布式ブラッグ・リフレクタ(DBR)スタック、または、半導体DBRスタックとすることが可能な反射率の高いミラーによって形成される小さな垂直空洞共振器内に配置される。活性層が空洞共振器内波長の腹の部分に配置され、DBRが垂直入射の最大反射率に同調させられると、放出される光の多くは、約 0° の狭い範囲内に集束する。しかし、活性層を空洞共振器内波長の腹の部分から離して配置するか、または、空洞共振器が同調されていないと、光の角分布が、オフ軸(軸から外れた)角の狭い範囲に制限される。全放出光の割合は、前述のように、所定の光の角分布の場合(上部表面に対して)斜角が大きくなると増大する。規則的なテキスチャが形成された界面によって60%の透過が可能な狭い角度範囲に、上方発光の80%を含むことができれば、結果得られる上方抽出効率

は、 $0.8 \times 0.6 = 48\%$ になる。
 【0026】最適性能に必要な規則的なテキスチャ形成の特定の形状、寸法、及び、構成は、用途によって決まる。特徴形状は、円錐状の隆起及び窪みとすることが可能である。典型的な規則的な構成は、方形、矩形、または、六角形(HCP, Hexagonal Closed Packed)アレイとすることが可能である。これらの構成が、それぞれ、規則的なテキスチャ形成界面の平面図を示す図5a~5cに示されている。周期的間隔は、おそらく、素子内の光の波長と同じか、あるいは、それより短い。テキスチャ形成界面の断面プロフィールは、隆起または窪みによる山と谷を示し、高さまたは深さによって決まるFWHM幅(Full-Width-at-Half-Maximum, 最大値の1/2における全幅)のように界面の平面に沿った個々の特徴の範囲も、素子内における光の波長の数倍以下と同等にすることが可能である。隆起または窪みの最大高さまたは深さは、素子内における光の1~数波長分と同等にすることが可能である。規則的なパターンの間隔は、波長によって決まる。従って、界面における電磁位相整合条件を最適に変更して、周囲に伝搬する全パワーを増大させるのは重要である。パターンの局所的特徴の範囲及び深さは、光を透過するための位相条件の変更効率に影響を及ぼす。また、全光学透過及び素子性能を最大にするため、その個々の局所的特徴のサイズ及び/または形状に関して、パターンの周期を少しずつ変化させてチャープを生じさせるか、あるいは、別の変化をつけることが可能である。

【0027】一例として、 $\lambda \sim 400 - 700 \text{ nm}$ の場合の可視波長LEDについて考察することにする。この場合、図4に解説の界面に関して、規則的なテキスチャ形成は、正方形またはHCP構成を示すことが可能である。特徴は、 $0.1 - 0.9 \mu\text{m}$ の範囲にわたって、 $0.1 - 0.5 \mu\text{m}$ の間隔をとり、特徴の深さは $0.2 - 1.5 \mu\text{m}$ ほどになる可能性がある。周期または間

隔は、大きい斜角で、光を周囲に伝搬するのに十分に短くなければならない。典型的な可視波長LED構造の場合、周期は、 $1.0 \mu\text{m}$ 未満になる。特徴の最大深さは、より高い抽出効率を実現するため、 $0.5 \mu\text{m}$ 以上にすることが可能である。問題となる界面は、2次元のため、格子パターンは、単純な格子のように1次元ではなく、2次元にしなければならない。

【0028】従来の半導体発光素子が、図6に示されている。該素子は、電流注入のために設けられた電気接点(4)を基板(3)上に有し、p-n接合活性領域(2)を含む半導体エピタキシャル層(1)から構成される。図6に示す電気接点は、素子の上部表面と底部表面の両方に形成されているが、両方の接点を素子の片側に設けて、もう片側における光の抽出効率を増すことも可能である。この後者の場合、満足のゆくように、エピタキシャル層(1)を基板上に成長させることができるか、あるいは、基板に取り付けることが可能であれば、基板(3)は、導体である必要はなく、半導体である必要さえない。

【0029】図7a~cには、発光素子の上部表面にテキスチャ形成するための一連のプロセスのステップが示されている。電気または光に感応する薄膜(5)が素子の上部に塗布されている(図7a)。この薄膜は、電子ビーム・リソグラフィ、レーザ・ビーム干渉、または、UV放射等を利用して露光され、所望のパターンが現像される(6)(図7b)。現像が済むと、残りのマスキング・パターンによって、後続のエッチングまたはミリング・プロセス(例えば、イオン・ミリング、反応イオン・エッチング、湿式化学エッチング、電気化学エッチング、光化学エッチング、化学的方法と組み合わせたイオン・ビーム・エッチング、または、これらの組み合わせ等)から素子材料の領域が保護され、所望のパターン(7)が素子材料に転写され、マスキング層(6)が除去される(図7c)。金属接点は、エッチングまたはミリング・プロセスに対するマスクの働きをし、それ自体にはテキスチャが形成されない。感光マスキング薄膜(5)は、自己パターン化エッチング技法(例えば、光電化学エッチング、局部レーザ溶融、及び、溶融領域の選択的エッチング等)を用いて、除去することが可能であり、この場合、素子材料の化学的、機械的、または、電気的状態は、パターンに従って変更され、その後、または、同時に、材料を選択的に除去することによって、規則的なテキスチャ形成界面が形成される。

【0030】代替案として、感光薄膜の前に、誘電体マスキング薄膜または他の薄膜(金属、ポリマ等)が塗布される。最適な光抽出にとって望ましい深いエッチングを施されたテキスチャが形成されるようにするため、このマスクのタイプ及び厚さは、マスキング材料と素子材料の間において必要なエッチング比率が得られるように選択される。さらに、この薄膜は、周囲への光抽出を改

善するためにテキスチャを形成することが可能な、適合する透過性ウインドウ層であるため、完成品の一部を構成することが可能である。これは、その結果得られる構造によって、素子からの有効脱出円錐が拡大するので、誘電体の屈折率が周囲の屈折率より大きい場合に役立つ可能性がある。

【0031】図8には、透明な基板素子の上部表面及び裏側表面にテキスチャ形成が可能なもう1つの実施例が示されている。活性領域は、一般に放出長で光を多量に吸収するので、裏側表面にテキスチャ(3)を形成して、裏側表面から素子の側部に反射する光の向きを直し、活性層及び上部金属接点による第2のパスを回避する。上部表面と底部表面のテキスチャは、いずれの表面においても、光の向きが別様に直されるので、異なるように形成することが可能である。薄い活性層素子または内部量子効率が高い(>80%)活性層素子の場合、この層における吸収はほとんど行われないので、代わりに、光の向きを直して、上部表面において脱出角をなすように、底部表面のテキスチャを設計することが可能である。

【0032】図9には、テキスチャが形成された表面の上に裏面金属接点が配置された実施例が示されている。代替案として、テキスチャ形成された領域外に、正面及び/または裏面接点を取り付けることも可能である。図9の場合、裏面金属接点(9)の波形によって、所定の接点寸法の表面積が増し、該接点が示す電気抵抗は、同じ寸法のフラットな接点に比べて小さくなる。波形接点は、同等の接触抵抗を得るのに、フラットな接点に比較して寸法を小さくすることが可能である。波形は、入射光に対する効率のよい反射または回折障壁の働きをすることができるので、波形接点は、従来のフラットな接点よりも吸収が少なくなる可能性ある。接点領域内におけるパターン化は、接点における吸収を減少させるため、接点領域内におけるTIRまたはフレネル反射の増大に関して、素子の界面の残りの部分におけるパターン化とは別個に最適化することが可能である。該領域における最適なパターン化は、素子の他の領域に関する最適パターン化と同様の場合のあれば、そうでない場合もある。

【0033】図10には、マクロ整形及び界面テキスチャ形成を組み合わせる実施例が示されている。表面テキスチャ形成は、円錐台形状の発光素子の上部と底部の一方または両方に設けられる。この透明基板素子は、厚い円錐形状のウインドウによって得られる抽出利得を活用するため、図9の素子に対しさかさまに取り付けられる。テキスチャ形成は、裏面に対して施され、光を素子の側面に向け直し、吸収性の活性領域を通過するのを阻止するように設計することが可能である。代替案として、上部金属接点と裏面金属接点を、両方とも、波形または「フラット」にすることが可能である。円錐形状のウインドウは、活性領域から放出される光の多くをほぼ

垂直入射角で上部表面に向けるのに役立つ。これによって、上部表面に入射する光の角帯域幅が狭くなり、一般に、回折構造における回折効率と帯域幅との間にはトレード・オフがあるので、より効率のよいテキスチャ形成設計が可能になる。逆の場合も有効である。上部表面における有効脱出円錐の拡大によって、チップ整形における設計制約条件の緩和が可能になり、設計コストが低下する。上部表面のテキスチャ形成によって、問題となる波長及び角度における最大の光抽出が可能になり、一方、接触領域のテキスチャ形成は、金属接点における吸収を減少させるため、反射率を最大にするように設計することが可能である。

【0034】図11には、規則的界面テキスチャ形成とチップ整形を組み合わせた実施例が示されている。角錐台形状は、半球形との類似性によって選択されている。テキスチャ形成は、少なくとも露出表面の1つに対して施される。フレネル損失を減少させ、抽出効率を高めるためには、上部及び底部だけでなく、素子の面取りされた側部(10)にもテキスチャ形成を施すことが望ましい。面取りされた表面(10)のパターン化は、レーザを利用した光化学エッチングのような非接触パターン化技法によって実施するのが最も有効である。さらに変形として、素子の端部エッジにも何らかのタイプの規則的テキスチャを形成して、放出パターンの変更及び/または抽出効率のいっそうの強化をはかることも可能である。

【0035】図12には、活性領域の近くに規則的テキスチャが形成された界面を備える素子が示されている。テキスチャが形成された界面には、透明なウインドウ層(12)が取り付けられている。このウインドウ層を設けることによって、活性層へ均一に電流を注入することが出来るために、上部接点から拡散する電流を増加させることが可能である。ウインドウ層とテキスチャ形成界面との間に挟まれた界面は、通常、空隙(13)から構成されるが、これらの空隙は、構造上の完全性をもたらす、素子の電流が流れる部分の幾何学構造を好適に修正するため、ウインドウ層の取り付け前に、適合する材料(例えば、誘電体、半導体材料、自然酸化物)を充填することが可能である。「挟む」材料のテキスチャ形成及び選択は、問題となる用途に関して素子の電氣的及び光学的特性が最適化されるように選択することが望ましい。規則的テキスチャ形成を活性層に近接させることによって、光の放出特性を改善することが可能になるが、この場合、光は、活性層から上部表面に対しほぼ垂直な入射角になるように、強制的に上方に放出される。この後者の場合、格子は、活性領域から $\sim 5\lambda$ 以内、できれば、 $\sim 2\lambda$ 以内に配置すべきである。格子を活性層の下方に配置して、光の向きを上方またはできればLEDのエッジに向け直すようにすることも可能である。

【0036】図13には、2つのDBRミラー・スタッ

ク(22A、22B)の間に挟まれた活性領域(2)から構成される空洞共振(RC)構造(20)を備えたLEDが示されている。この空洞共振器は、同調が取られていないので、活性層からの異方性放出(オフ軸放出)が得られる。規則的テクスチャが形成された上部表面は、この光を周囲に効率よく結合するように設計される。素子が透明基板に取り付けられる場合、底部表面にテクスチャ形成を施して、なるべく素子の側部の光の脱出円錐内に向けるようにすることも可能である。さらに、代わりに、活性層により近い界面において、テクスチャ形成された界面を素子内に埋め込むことも可能である。

【0037】図14には、空洞(20)の片側が反射率の高い金属ミラー(24)によって形成され、もう片側がDBRスタック(22)によって形成された、RCL LEDが示されている。素子は、(透明)基板を上にして取り付けられる。空洞共振器は、オフ軸放出のため同調が取られてなく、上部表面には、放出光を周囲に効率よく伝搬できるようにテクスチャが形成される。さらに、図13及び14のRCL LED素子は、(テクスチャ形成に加えて)オフ軸放出による光を最適に外部結合するように整形することも可能である。

【0038】以上、本発明の実施例について詳述したが、以下、本発明の各実施態様の例を示す。

【0039】(実施態様1)発光素子、該発光素子は、以下(a)および(b)を含むことを特徴とする、

(a)素子、該素子は、以下(a-1)ないし(a-4)を含む、(a-1)基板(3)、(a-2)p-n接合領域(2)、該p-n接合領域(2)は複数の層を備え、その部分組をなす複数層の極性が、p-n接合を形成するように逆極性になっており、層の1つが基板に隣接している、(a-3)透過性ウインドウ層、該透過性ウインドウ層は前記p-n接合領域に隣接して配置され、及び、(a-4)電気接点(4)、該電気接点は前記p-n接合領域に接続し、前記p-n接合に順バイアスをかける働きをする、

(b)主界面(7、8、11)であって、該主界面(7、8、11)は前記素子内に配置され、少なくとも1つの選択方向において繰り返される特徴によってテクスチャが形成されており、選択された方向のそれぞれにおいて関連する周期性を備えて、光の抽出を増すようになり、1つの周期内において、少なくとも1つの山と少なくとも1つの谷を有する断面プロファイルを備える主界面(7、8、11)。

【0040】(実施態様2)実施態様1に記載の発光素子であって、該発光素子は、前記主界面が少なくとも2つの選択された方向において、同じ周期性で繰り返される特徴を備えていることを特徴とする。

【0041】(実施態様3)実施態様1に記載の発光素子であって、該発光素子は、前記主界面が矩形的アレ

を形成する反復特徴を備えていることを特徴とする。

【0042】(実施態様4)実施態様1に記載の発光素子であって、該発光素子は、前記主界面が六角形パターンを形成する反復特徴を備えていることを特徴とする。

【0043】(実施態様5)実施態様1に記載の発光素子であって、該発光素子は、山から谷までの最大深度が、0.2~15ミクロンであることを特徴とする。

【0044】(実施態様6)実施態様1に記載の発光素子であって、該発光素子は、周期性が0.1~5.0ミクロンの関連する周期を有していることを特徴とする。

【0045】(実施態様7)実施態様1に記載の発光素子であって、該発光素子は、谷はp-n接合領域の2ミクロン内にあることを特徴とする。

【0046】(実施態様8)実施態様1に記載の発光素子であって、該発光素子は、前記主界面の断面プロフィールの山と谷のFWHM幅がテクスチャをなす配列の1周期の10~90%であることを特徴とする発光素子。

【0047】(実施態様9)実施態様1に記載の発光素子であって、該発光素子は、前記主界面の一部が導電性であることを特徴とする。

【0048】(実施態様10)実施態様1に記載の発光素子であって、該発光素子は、さらに前記主界面の一部が金属皮膜を含むことを特徴とする。

【0049】(実施態様11)実施態様1に記載の発光素子であって、該発光素子は、谷の少なくとも一部が、屈折率2.0未満の材料によって充填されることを特徴とする。

【0050】(実施態様12)実施態様11に記載の発光素子であって、前記屈折率が2.0未満の材料は誘電体材料であることと、さらに、該発光素子は、前記誘電体材料上に配置される金属層を含むことを特徴とする。

【0051】(実施態様13)実施態様1に記載の発光素子であって、該発光素子は、さらに次のものを含むことを特徴とする、素子内に配置されるN層の2次界面(10)(ここで、 $N \geq 1$)、該2次界面は、それぞれに少なくとも1つの選択方向において繰り返される特徴によってテクスチャが形成され、それぞれの選択された方法において周期性を備えて光の抽出を増すようになり、任意の周期内において少なくとも1つの山と少なくとも1つの谷を有する断面プロフィールを備える。

【0052】(実施態様14)実施態様13に記載の発光素子であって、前記N層の2次界面の少なくとも1つの界面及び前記主界面が、異なる断面プロフィールを備えていることを特徴とする発光素子。

【0053】(実施態様15)実施態様13に記載の発光素子であって、前記N層の2次界面の少なくとも1つの界面及び前記主界面が、異なる周期性でテクスチャが形成されることを特徴とする発光素子。

【0054】(実施態様16)発光素子のテクスチャ形成界面の製造方法であって、該方法は以下(a)および

10

20

30

40

50

(b)のステップを含むことを特徴とする。(a)少なくとも1つのパターンを素子の少なくとも1つの界面に転写するステップであり、各パターンが、少なくとも1つの選択された方向において周期性を示す反復特徴を示すようにするステップと、および(b)パターンに基づいて素子材料の一部を除去するステップであり、少なくとも1つの方向において周期性を示す反復特徴によってテクスチャが形成された界面を形成するステップ。

【0055】(実施態様17)実施態様16に記載の方法であって、前記パターンの転写ステップはさらに次の(a)ないし(b)のステップを含むことを特徴とする。(a)素子の界面にフォトレジスト層を堆積させるステップと、(b)フォトレジスト層の一部を露光させて、パターンを形成するステップと、(c)フォトレジストの非パターン形成領域を除去して、マスキング層を形成するステップ。

【0056】(実施態様18)実施態様16に記載の方法であって、前記パターンの転写ステップはさらに次の(a)ないし(e)のステップを含むことを特徴とする。(a)素子の界面に誘電体材料層を堆積させるステップと、(b)誘電体層材料層にフォトレジスト層を堆積させるステップと、(c)フォトレジスト層の一部を露光させて、パターンを形成するステップと、(d)フォトレジストの非パターン形成領域を除去するステップと、(e)パターンに従って誘電体材料層にエッチングを施すステップ。

【0057】(実施態様19)実施態様16に記載の方法であって、さらに、屈折率が2.0未満の材料を用いて、前記界面の少なくとも一部に充填を行うステップが含まれることを特徴とする。

【0058】(実施態様20)実施態様16に記載の方法であって、さらに、電気接点を前記界面に取り付けるステップが含まれることを特徴とする。

【0059】(実施態様21)実施態様16に記載の方法であって、前記パターンの転写ステップはさらにパターンに基づいて素子材料の状態を修正するステップ、該パターンは少なくとも1つの方向において周期性を有する繰り返し特徴を有する、が含まれていることを特徴とする。

【0060】(実施態様22)実施態様21に記載の方法であって、前記修正ステップ及び前記除去ステップが同時に実施されることを特徴とする。

【図面の簡単な説明】

【図1】先行技術の例を示す図である。

【図2】先行技術の他の1つの例を示す図である。

【図3】k空間図である。

【図4】界面に沿った周期的テクスチャを示す図である。

【図5a】周期的テクスチャに関する規則的配列の例を示す図である。

【図5b】周期的テクスチャに関する規則的配列の例を示す図である。

【図5c】周期的テクスチャに関する規則的配列の例を示す図である。

【図6】従来の半導体発光ダイオードを示す図である。

【図7a】LEDの上部表面にテクスチャ形成を施す方法を示す図である。

【図7b】LEDの上部表面にテクスチャ形成を施す方法を示す図である。

【図7c】LEDの上部表面にテクスチャ形成を施す方法を示す図である。

【図8】テクスチャが形成された透明基板素子を示す図である。

【図9】テクスチャが形成された透明基板素子の他の1つの実施例を示す図である。

【図10】テクスチャが形成された透明基板素子の他の1つの実施例を示す図である。

【図11】テクスチャが形成された透明基板素子の他の1つの実施例を示す図である。

【図12】テクスチャが形成された透明基板素子の他の1つの実施例を示す図である。

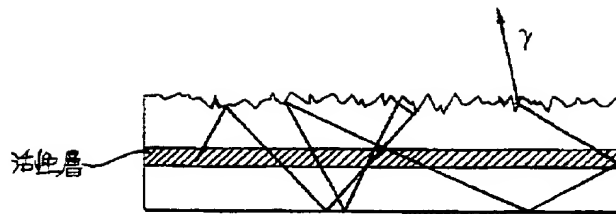
【図13】2つのDBRミラー・スタックから構成される、規則的なテクスチャが形成された界面を備える、空洞共振型LEDチップを示す図である。

【図14】DBRスタックと1つの金属ミラーから構成される、透明な基板表面に規則的テクスチャが形成された界面を備える、空洞共振型LEDチップを示す図である。

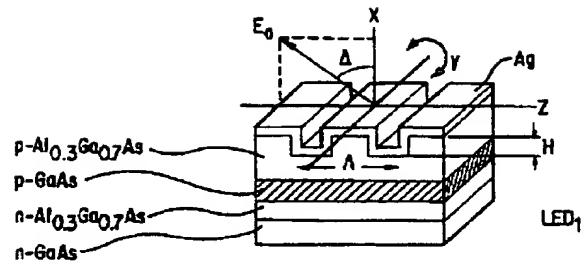
【符号の説明】

- 1 エピタキシャル層
- 2 p-n接合活性領域
- 3 基板
- 4 電気接点
- 5 マスキング薄膜
- 6 マスキング層
- 7 所望のパターン
- 8 テクスチャ
- 9 裏面金属接点
- 10 面取りされた側部
- 12 ウインドウ層
- 13 空隙
- 20 空洞共振構造
- 22A DBRミラー・スタック
- 22B DBRミラー・スタック
- 24 金属ミラー

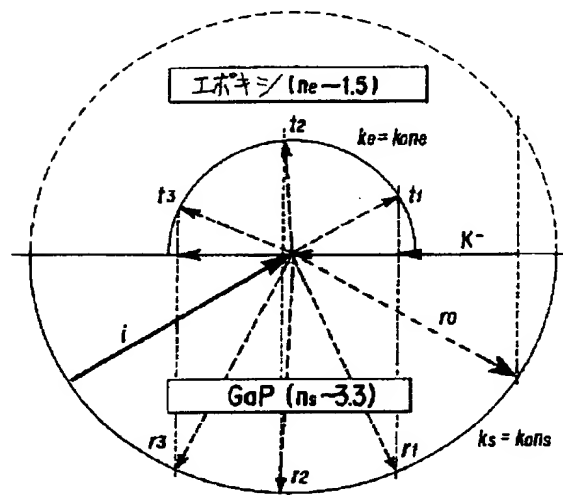
【図1】



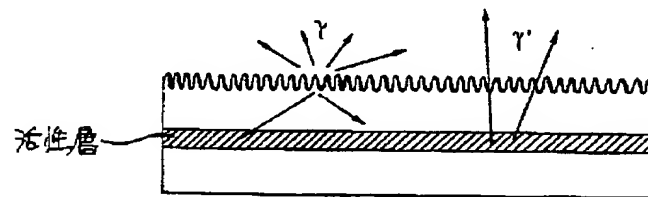
【図2】



【図3】



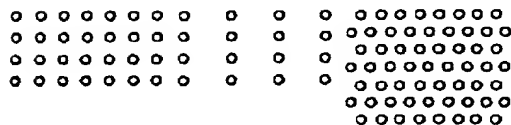
【図4】



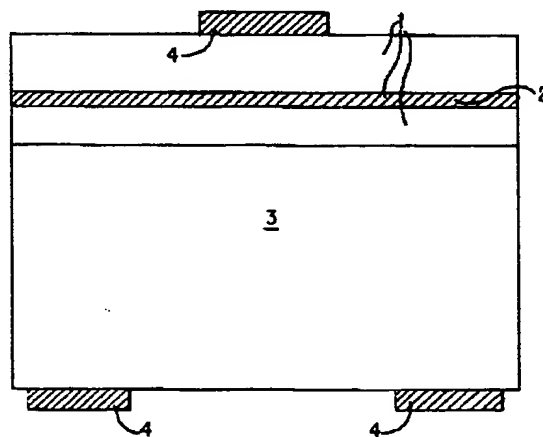
【図5a】

【図5b】

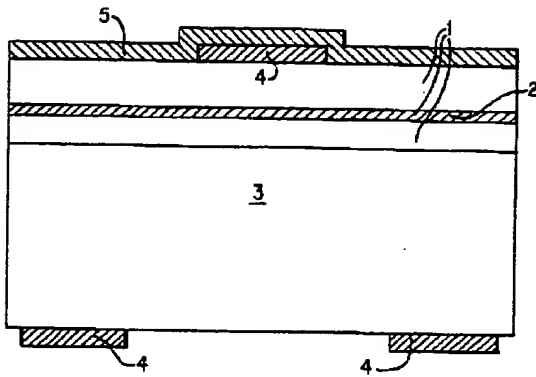
【図5c】



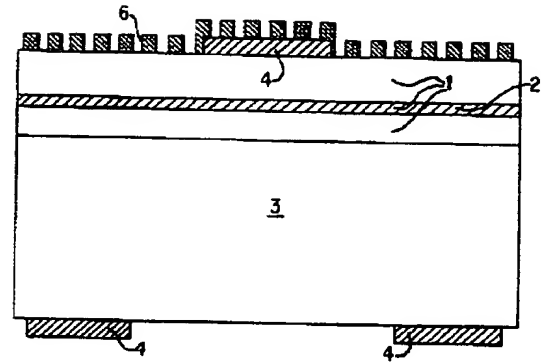
【図6】



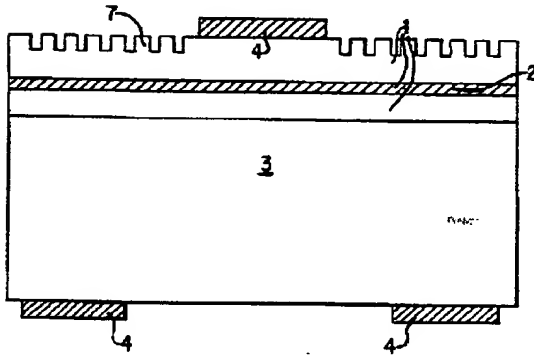
【図7a】



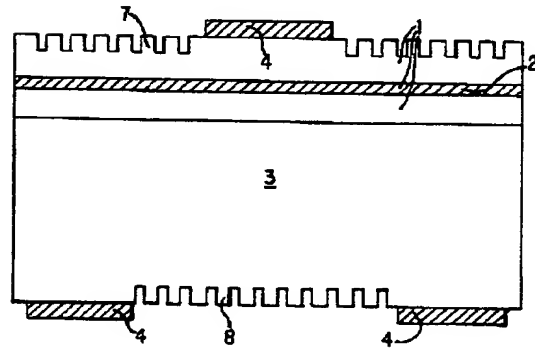
【図7b】



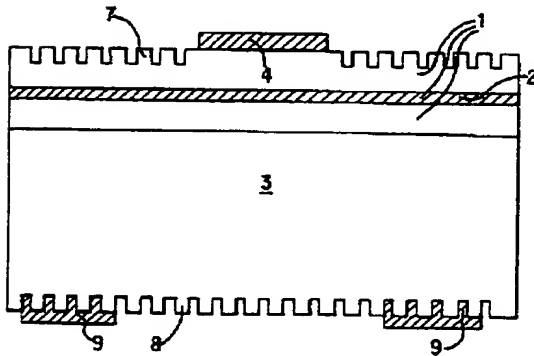
【図7c】



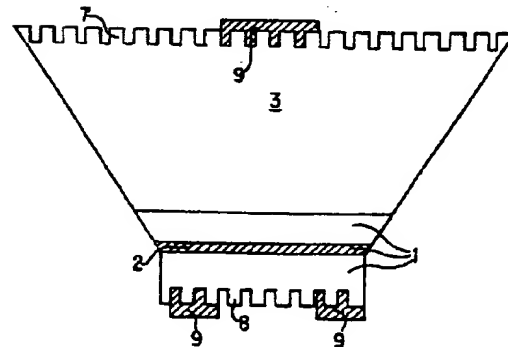
【図8】



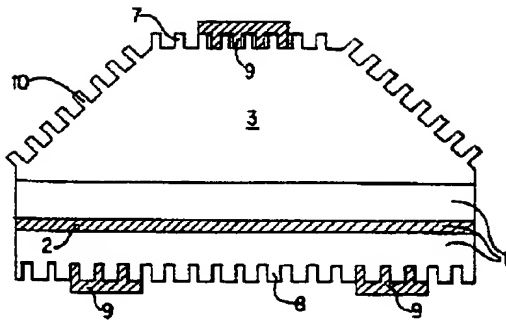
【図9】



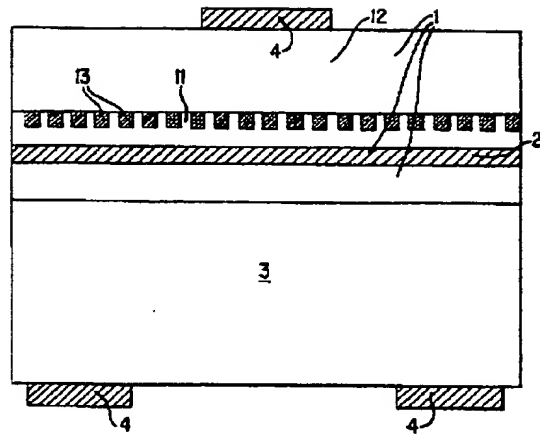
【図10】



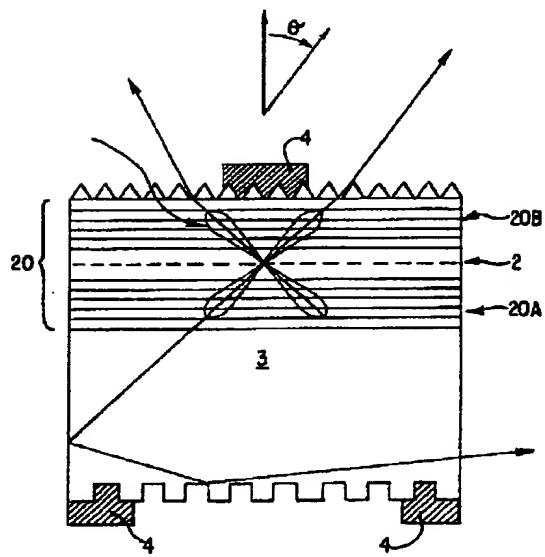
【図11】



【図12】



【図13】



【図14】

